

⑧ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 34 590 A 1

⑤ Int. Cl. 6:  
B 23 K 26/00  
A 61 C 1/08  
A 61 C 13/38

DE 195 34 590 A 1

⑪ Aktenzeichen: 195 34 590.8  
⑫ Anmeldetag: 11. 9. 86  
⑬ Offenlegungstag: 13. 3. 87

⑦ Anmelder:  
Laser- und Medizin-Technologie gGmbH, Berlin,  
12207 Berlin, DE

⑧ Vertreter:  
Christiansen, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 14185 Berlin

⑦ Erfinder:  
Möller, Gerhard, Prof. Dr.-Ing., 14129 Berlin, DE; Ertl,  
Thomas, 15831 Mahlow, DE; Benthin, Hartmut, 10783  
Berlin, DE

⑥ Scanning Ablation von keramischen Werkstoffen, Kunststoffen und biologischen Hydroxylapatitmateriellen,  
insbesondere Zahnhartsubstanz

DE 195 34 590 A 1

## Beschreibung

5 Diese Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Lasermaterialbearbeitung von keramischen Werkstoffen und biologischen Hydroxyapatitmaterialien insbesondere Zahnhartsubstanz, bei dem mittels Strahl-Scanning und einer On-Line Messung tiefenbegrenzte Ablation erreicht wird, und so die Handhabung und Oberflächengenauigkeit entscheidend verbessert werden.

## Stand der Technik

10 Der Stand der Technik bei Laser-Dentalhandstücken zur Zahnhartsubstanzbearbeitung bezieht sich ausschließlich auf Instrumente mit Fokusgrößen im Bereich 0,2–1,5 mm und Pulslängen länger als 100 µs oder unter 100 ns. Es werden insbesondere Varianten für verschiedene Laserwellenlängen und verschiedene Wechselmechaniken zur Trennung des Handstücks vom Lichtleiter beschrieben. Die Strahlführung erfolgt entweder über Linsen, Hohlleiter oder Lichtleitfasern.

15 Verfahren und Vorrichtungen dieser Art sind beispielsweise beschrieben in DE 41 28 617 (Siemens), GB 8125944 (Pembury), US 5,020,995 (Levy), US 5,192,279 (Samuels), DE 40 38 809, DE 34 15 293 (Kaltenbach & Voigt), Gebrauchsmuster U1 Rollennummer G92 01 056.3 (Kaltenbach & Voigt), DE 42 11 233 (Steiger).

Der Verschmutzung der Endoptik wird durch Freiblasen mit Wasser-Luft-Spray entgegengewirkt.

20 Wasser-Luft Spray wird schon in DE 39 11 871 als wirksames Mittel zur Kühlung des Laserprozesses angesehen, was zu einer deutlichen qualitativen Verbesserung des Ablationsergebnisses führt. Dies ist allerdings auch schon lange vom konventionellen Dentalhandstück (Turbine) bekannt.

Als Stand der Technik bei Lasern zur Hartsubstanzbearbeitung ist der Er:YAG Laser mit folgenden Betriebsparametern anzusehen:

500 µm–1,2 mm Spotdurchmesser

25 Pulslängen im Bereich 180–500 µs

Puls wiederholraten 3–12 Hz

Strahlführung über Lichtleitfaser oder Spiegelgelenkarm

Spraykühlung

DE 42 11 233 (Anmelder Kaltenbach & Voigt) beschreibt ein solches am Behandlungstuhl integriertes Er:YAG-Lasergerät mit Spiegelgelenkarm und handgeföhrtem Handstück. Es ist nach dem Stand der Technik auch bekannt, daß zur gleichmäßigen Abtragung von Hautschichten eine zeilenweise Abtastung des Ablationsareal mittels eines Scanners eine Verbesserung gegenüber der Handführung bringt. (z. B. Swift-Laser von Laser Industries). Nachteile von nach dem Stand der Technik konstruierten Geräten zur Zahnhartsubstanzbearbeitung sind rekristallisierte Auflagerungen an der Kavitteneoberfläche, insbesondere bei der Bearbeitung von Zahnschmelz.

35 Das nicht tiefenbegrenzte Abtragen mit Laserenergie stellt an den Behandler hohe Anforderungen. Beim Übergang von Zahnschmelz zu Dentin kommt es zu einem für den Behandler überraschenden Anstieg der Abtragsrate, die zu akzidentieller Pulpaeöffnung führen kann. Zudem erzeugen hohe Pulsennergien, wie sie nach dem Stand der Technik verwendet werden Stoßwellen, die den Zahnnerv schädigen können.

40 Bei der optischen Abtastung von Kavitten in Zahnhartsubstanz erweisen sich die optischen Eigenschaften von Zahnhartsubstanz als sehr ungünstig. Bei dem, dem Stand der Technik entsprechenden Kavittenabtastsystem (Bestandteil des CEREC System der Fa. Siemens) muß daher die Kavität nach Präparation mit BaSO<sub>4</sub> eingepudert werden. Dadurch ist eine Online-Messung während der Präparation unmöglich.

## Aufgabenstellung

45 Es soll ein Verfahren und eine Vorrichtung angegeben werden, mit der es möglich ist mit einer lateralen und axialen Genauigkeit von 30–50 µm Ablation von keramischen Werkstoffen, Kunststoffen und biologischen Hydroxyapatitmaterialien, insbesondere Zahnhartsubstanz durchzuführen. Die Ablation soll tiefenlimitiert erfolgen, d. h. die Ablation stoppt selbstständig, wenn eine vorgegebene Tiefe der Kavität erreicht ist. Die Wahl der Laserparameter erfolgt in Abhängigkeit vom zu bearbeitenden Material. Retentive Muster zur Verbesserung der Haftung von Kunststofffüllungen auf Zahnschmelz können erzeugt werden.

## Erfindung

50 Überraschender Weise hat sich gezeigt, daß es bei Verringerung des Spotdurchmessers und gleichzeitiger Erhöhung der Puls wiederholrate unter Beibehaltung der Energiedichte zu keinem Effizienzabfall (mm<sup>3</sup>/J) im Vergleich zur konventionellen Ablation mit hohen Pulsennergien kommt. Wegen der Zunahme von Randeffekten aufgrund des ungünstigeren Verhältnisses zwischen Ablationsfläche und Umfang wäre dies zu erwarten gewesen.

55 Dadurch ergibt sich die Möglichkeit auch mit Pulsennergien unter 50 mJ bei Spotdurchmessern unter 350 µm unter Beachtung des Absorptionsverhaltens von Zahnhartsubstanz mit Wellenlängen im Bereich 1,9–2,1 sowie 2,5–3,3 µm oder 9,2–11 µm vornehmlich 2,78 und 2,94 µm bzw. 9,6 und 10,6 µm und dem Einsatz von Spraykühlung mit einem Fluid-Luftgemisch effizient Keramik, biologische Hartsubstanzen, vornehmlich Zahnhartsubstanz und Kunststoffe zu bearbeiten. Das Fluid muß dabei eine hohe Absorption der Laserenergie aufweisen.

60 Die niedrigen Pulsennergien können zum Erreichen einer ausreichenden Abtragsleistung durch eine Erhöhung der Puls wiederholrate im Bereich 10 Hz–10 kHz ausgeglichen werden.

65 Folgende Kombinationen sind möglich:

| Spotdurchmesser<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Energiedichte<br>[J/cm <sup>2</sup> ] | Pulsenergie<br>[mJ] | Puls wiederholfrequenz<br>[Hz] |
|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 150                                  | 30                                    | 10                  | 500                            |
| 240                                  | 30                                    | 20                  | 250                            |
| 350                                  | 30                                    | 40                  | 125                            |
| 540                                  | 30                                    | 80                  | 62,5                           |

Entgegen allen derzeit üblichen Laserparametern zeigte sich für den Durchschnittsfachmann überraschend, daß trotz der strukturellen Ähnlichkeit von Schmelz und Dentin ein akzeptabler Kompromiß zwischen Ablationsqualität und praktikabler Ablationsrate nur mit unterschiedlichen Pulsängen realisiert werden kann. Die Pulsängen für die Dentinbearbeitung liegt im bevorzugten Ausführungsbeispiel zwischen 100 und 300  $\mu\text{s}$  und für Schmelz zwischen 10 und 80  $\mu\text{s}$ . Mit diesen Pulsängen erreicht man bei der Zahnhartsubstanzbearbeitung ein qualitatives Optimum der bearbeiteten Oberfläche.

Der Laserstrahl wird mit einem Strahlablenksystem zyklisch über eine vorgegebene Fläche geführt. Die Ablenkung des Strahls erfolgt in Form eines Linien/Raster-Scans und, wenn die thermische Belastung des Material steigt (bei hoher Puls wiederholrate) in Form eines Scans, der maximale Abstände zwischen die Ablationspunkte setzt. Dadurch erreicht man eine homogener Verteilung der Wärmebelastung. Die Form des Scanareals ist wählbar. In einem Ausführungsbeispiel können Kreise/Ellipsen, beginnend bei einem Spotdurchmesser bis 3 mm Durchmesser, sowie Linien bis 3 mm und Rechtecke mit Kantenlängen bis 3 mm gescannt werden. Bei einem Arbeitsabstand von 15 mm erfordert dies eine Spiegelablenkung von ca. 4°, entsprechend einer Strahlablenkung von 8°.

In einem Ausführungsbeispiel wird der Strahl durch einen, mit Schrittmotoren angesteuerten Spiegel über 10 Zeilen à 10 Punkten geführt, wobei bei 100 Hz Puls wiederholrate 10 ms Zeit zwischen zwei Punkten bleibt. Läßt man bei kontinuierlicher Spiegelbewegung eine Strahlverwischung von 1/10 Spotdurchmesser zu, verbleiben für Laserpuls und Tiefenmessung 1 ms bei 100 Hz bzw. 100  $\mu\text{s}$  bei 1 kHz Puls wiederholrate.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird ein pneumatisch oder elektrisch angetriebener Spiegelfacettenscanner eingesetzt. Zur Realisierung eines Zeilenscans sind die einzelnen Spiegelfacetten gegeneinander verkippt. Da im Handstückkopfbereich nur Abmessungen von 15 x 15 mm möglich sind und ein Mindeststrahl durchmesser von 2 mm am Spiegel nicht unterschritten werden sollte, läßt sich nur eine begrenzte Anzahl Facetten realisieren. Möglich ist ein Octagon mit in Richtung senkrecht zur Scannerdrehachse aufgerichteten Facetten. Bei einer 2/3 Belegung der Facetten durch den Strahldurchmesser verbleiben beim Octagon 15° nutzbarer Scanwinkel. Durch die Facettenaufrichtung reduziert sich dieser auf die notwendigen 4–5°.

Beim Betrieb dieser Art von Scanner sind zwei Betriebsarten möglich.

1. Man gibt alle Laserpulse einer Scanzeile auf die gleiche Facette. Bei 100 Hz Puls wiederholrate dreht der Scanner mit 96 UPM. 2/3 der Zeit können jedoch nicht genutzt werden, da bei 2/3 Facettenbelegung sich dann eine Facettenkante im Strahldurchmesser befindet. Dies reduziert die effektive Puls wiederholrate auf 1/3.
2. Man gibt auf eine Facette nur einen Laserpuls. Bei 8 Facetten und 100 Hz Puls wiederholrate ergibt sich dann eine Drehzahl des Scanners von ca. 750 UPM. Der nächste Puls erfolgt um eine Zeile und einen Spotdurchmesser versetzt. Läßt man eine Strahlversatz von 1/10 des Strahldurchmessers zu, stehen ca. 20  $\mu\text{s}$  für Tiefenmessung und Laserpuls zur Verfügung.

Falls Scanzeilenlängen von ca. 1 mm ausreichen, sind auch akustooptische, oder elektrooptische Deflektoren einsetzbar. Als Materialien eignen sich für den IR-Bereich z. B. Ge oder TeO<sub>2</sub>. Die HF Ansteuerleistung liegt dann bei ca. 10 W. Die mit zunehmenden Ablenkinkel abfallende Strahlleistung wird durch eine, vom Ablenkinkel abhängige Erhöhung der Pulsenergie ausgeglichen.

Zum Erreichen eines kontrollierten Abtrages wird eine On-Line Tiefenmessung durchgeführt. In den verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung wird die Variation des Spotdurchmessers bzw. der Lage des Spots eines Meßstrahls als Tiefeninformation genutzt.

Zur Auswertung der Information aus Lage bzw. Durchmesser des Spots muß die Wellenlänge des Meßstrahls in Bereichen hoher Absorption des zu bearbeitenden Materials liegen, da ansonsten der Streuhof rund um den Spot die Meßgenauigkeit reduziert.

Der in der Pulsenergie reduzierte Bearbeitungsstrahl kann der Meßstrahl sein. Es kann jedoch auch der Strahl einer weiteren Lichtquelle koaxial oder paraxial in den Strahlengang eingekoppelt werden. Die Detektion erfolgt mit TGS-Detektoren oder optional bei Anwendung von Wellenlängen im Bereich um 10  $\mu\text{m}$  mit peltiergekühlten HgCdTe Detektoren und im Bereich um 3  $\mu\text{m}$  mit peltiergekühlten InAs Detektoren.

Beim Arbeiten mit dem Handstück kann ein Abstandsfenster vorgegeben werden, in dem der Bearbeitungsstrahl arbeitet. Überschreitet innerhalb des Ablationsbereichs einer der Scanpunkte die maximale Ablationstiefe wird der Laser nicht aktiviert. Kommt die gemessene Tiefe der vorgegebenen Tiefe nahe, wird die Pulsenergie reduziert. Dies führt dazu, daß selbst bei inhomogenen Materialien ebene Flächen erzeugt werden können. Die dazu notwendige Steuerung ist konventionell als Microcontroller ausgeführt.

Die Form des gescannten Bereichs wird der Applikation angepaßt. Ein strichförmiges Ablationsgebiet zur Fissurenversiegelung, ein kreisförmiges oder elliptisches Ablationsgebiet zur Kariesentfernung und ein rechteckiges Gebiet zur Präparation von Retentionsrillen.

Mehrere Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnungen näher beschrieben. Fig. 1 zeigt den Verlauf der Ablationseffizienz in Abhängigkeit von der Pulsilänge für ein Material mit ca. 3% Absorberkonzentration und eines mit 20–30% Absorberkonzentration. Im speziellen Ausführungsbeispiel handelt es sich dabei um Schmelz und Dentin mit der Absorbersubstanz Wasser.

5 Fig. 2 zeigt eine Übersicht des Handstücks. Meß-, Pilot- und Bearbeitungsstrahl werden über die, in einem Moving coil System (2) befindliche Linse (6) und den Spiegel (1) zum Ablationsgebiet geführt.

Die Bewegung des Spiegels erfolgt über die Schrittmotoren (3) und (4). Die Verbindung zwischen dem Spiegel und den Schrittmotoren und ist als kugelgelagerte Welle mit aufgesetzten Tannelscheiben ausgeführt. Durch Federn wird das Rückstellmoment erzeugt. Die bewegten Teile des Moving coil Systems (2) oszillieren in Eigenresonanz. In den Ringnut (7) kann eine 90° Strahlumlenkung eingesetzt werden. Zum Besprühen des Ablationsgebietes dienen eine oder mehrere Spraydüsen (8).

10 Die LED's (9, 10, 11) zeigen an, ob sich der Bearbeitungspunkt des Handstücks oberhalb, in der oder unterhalb der Fokusebene des Handstücks befindet.

15 Fig. 3 zeigt das System zur dynamischen Fokussierung mit Auswertung des Spotdurchmessers.

Der Meßstrahl läuft durch den, als Strahleiter ausgeführten teildurchlässigen Spiegel (12) und wird durch die Linse (6) auf die Meßebene fokussiert. Das rückreflektierte Licht wird durch die Linse (6), den Strahleiter (102), die Linse (13) und den Spiegel (14) auf den Detektor D1 (15) geleitet. Linse (6) oszilliert um ihre Ruhelage.

20 Befindet sich die zu messende Fläche außerhalb des Fokus von Linse (6) wird Spiegel (14) überstrahlt. Die Intensität an Detektor D1 (15) nimmt ab, und das Signal an Detektor D2 (16) nimmt zu. Aus der Quotientenbildung der Signale an D1 (15) und D2 (16) ergibt sich ein ausgeprägter Signalunterschied, wenn die Meßebene aus der Fokalebene von Linse (6) auswandert. Das Signal ist moduliert mit der Frequenz der Oszillation des Moving coil Systems. Die Phasenverschiebung zwischen dem Signal D1/D2 und dem Spulenstrom enthält die Abstands-25 information zwischen E1 und E2.

Fig. 4 zeigt den Verlauf der relativen Signaländerung D2/D1 für den Fall, daß mit 3 µm Wellenlänge gemessen wird.

25 Fig. 5 zeigt das Tiefenmeßsystem mittels seitlichem Strahlversatz.

In einer anderen Ausführungsform wird die Tiefeninformation durch Auswandern eines paraxial eingekoppelten Strahls um  $\Delta x$  bei Verschieben der Abbildungsebene um  $\Delta s$  gewonnen. Die Reflexion des Leuchtflecks wird über die Linse (6) über den Strahleiter (12) und die Linse (13) auf die positionssensitive Anordnung von Detektor 1 (17) und Detektor 2 (18) abgebildet. Gemessen wird die Verschiebung durch Differenzbildung der Signale von Detektor 1 (17) und 2 (18). Die Phasenverschiebung zwischen dem Nulldurchgang des Differenzsignals von D1 und D2 und dem Spulenstrom enthält die Tiefeninformation.

30 Fig. 6 zeigt einen Aufsatz, der in den Ringnut (7) der Ausführungsform des Handstücks nach Fig. 1 eingesetzt werden kann.

35 Der Aufsatz lenkt durch den Spiegel (19) um 90° um, und ermöglicht dadurch die Bearbeitung der Wände des approximalen Kastens bei Kavitäten der Klasse II. Da durch den Aufsatz der Abstand zur Fokusebene verlängert wird, wird der Strahl durch die Konkavlinse (20) aufgeweitet.

40 Fig. 7 zeigt eine Strahlablenkung mittels eines Facettenspiegelscanners. Die Zeilenablenkung erfolgt durch Rotation des Spiegels (21) um die Drehachse, die Bildablenkung erfolgt durch Verkippen der Spiegelfacetten gegeneinander. Der Antrieb erfolgt elektrisch oder pneumatisch (22). Zur Strahlführung ist ein weiterer Umlenkspiegel (23) notwendig.

#### Patentansprüche

- 45 1. Verfahren und Vorrichtung zur Lasermaterialbearbeitung von keramischen Werkstoffen und biologischen Hydroxylapatit-materialien insbesondere Zahnhartsubstanz, dadurch gekennzeichnet, daß mittels Strahl-scanning und einer On-Line Messung tiefenbegrenzte Ablation erreicht wird, und Handhabung sowie Oberflächengenauigkeit entscheidend verbessert werden.
- 50 2. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein kurzgepulster Laser, dessen Emissionswellenlänge in einem Absorptionsmaximum des zu bearbeitenden Materials liegt und dessen Pulsilänge an den Absorbergehalt des Materials angepaßt ist, verwendet wird.
- 55 3. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser ein bei 2,69 µm Wellenlänge arbeitender CTE-Laser verwendet wird.
4. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser ein bei 2,78 µm Wellenlänge arbeitender Er : YSGG-Laser verwendet wird.
5. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser ein bei 2,94 µm Wellenlänge arbeitender Er : YAG-Laser verwendet wird.
6. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser ein bei 9,6 µm Wellenlänge arbeitender CO<sub>2</sub>-Laser verwendet wird.
7. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser ein bei 10,6 µm Wellenlänge arbeitender CO<sub>2</sub>-Laser verwendet wird.
8. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsilänge des Lasers im Bereich 1 bis 100 µs liegt und eine Puls wiederholrate von 10 Hz bis 10 kHz verwendet wird.
9. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Fluid mit einem Absorptionsmaximum im Bereich der Emissionswellenlänge des Lasers auf das Ablationsgebiet in Form eines Aerosols aufgebracht wird.
10. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl wahlweise in Form eines zeilenweisen Scans oder eines Scans, der maximale Abstände zwischen die einzelnen Ablations-

# DE 195 34 590 A1

punkte setzt, über das zu bearbeitende Areal geführt wird.

11. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine simultane Tiefenmessung durchgeführt wird.

12. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl durch eine, in Meßstrahlrichtung dynamisch verschiebbare Linse (6), um den Punkt des minimalen Fleckdurchmessers oszillierend, fokussiert wird.

13. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge des Meßstrahls im Bereich hoher Absorption des zu bearbeitenden Materials liegt.

14. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung des Fokussdurchmessers mittels Quotientenbildung der Signale von Detektor 1 (15), der über Spiegel (14) beleuchtet wird und Detektor 2 (16), der im Falle einer Fokusdurchmesseraufweitung den Anteil der rückreflektierten Strahlung, die den Spiegel 2 (14) überstrahlt, erhält.

15. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßstrahl paraxial in den Strahlengang eingekoppelt wird und die Distanz  $\Delta s$  zwischen Fokusebene und der Meßobjektoberfläche einen lateralen Strahlversatz um  $\Delta x$  bewirkt und daß die Reflexion des Leuchtfecks wird auf die positionssensitive Differenzanordnung von Detektor 1 (17) und Detektor 2 (18) abgebildet wird, sowie die Signaldifferenz D2-D1 ein Maß für den Abstand  $\Delta s$  darstellt.

16. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Ergebnis der Längenmessung dazu führt, daß beim Überschreiten eines Maximalabstandes [Handstück-Bearbeitungsoberfläche] der Laser gestoppt wird, und bei Annäherung an den vorgegebenen Abstand die Pulsenergie reduziert wird.

17. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Ergebnis der Abstandsmessung, für den Behandler sichtbar, mit im Handstückkopfbereich befindlichen LED's angezeigt wird. LED 9 leuchtet falls bei mehr als 70% des gesamten Scanbereichs der Laser aktiv ist. LED 10 leuchtet, wenn bei 20—80% des Scanbereichs der Laser aktiv ist. LED 11 leuchtet, wenn der Laser bei weniger als 30% des Scanbereichs aktiv ist.

18. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Bearbeitungsstrahl mit der gleichen Linse (6) wie der Meßstrahl dynamisch fokussiert wird und der Laser im Moment des Erreichens des geringsten Fokusdurchmessers emittiert.

19. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der in seiner Pulsenergie reduzierte Bearbeitungsstrahl der Meßstrahl ist.

20. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein mechanischer Scanner entsprechend Fig. 2 verwendet wird.

21. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Spiegelfacettenscanner gemäß Fig. 7 zur Strahlablenkung verwendet wird.

22. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulslänge des Lasers in Abhängigkeit vom gerade zu bearbeitenden Material eingestellt werden kann.

23. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung manuell vorgenommen wird.

24. Verfahren und Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung in Abhängigkeit der Ablationstiefe der Ablation des letzten Scans vom System selbständig vorgenommen wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

45

50

55

60

65

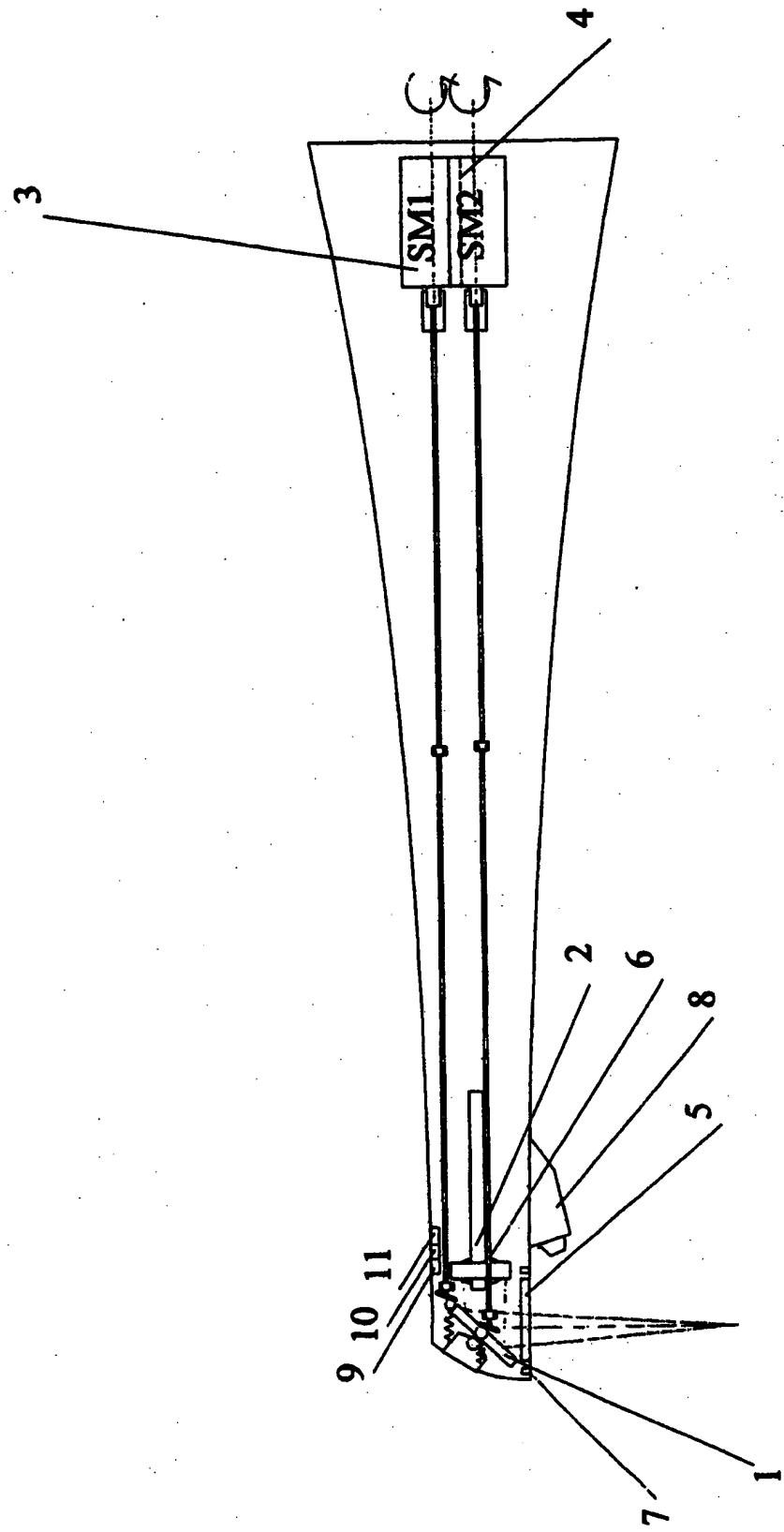
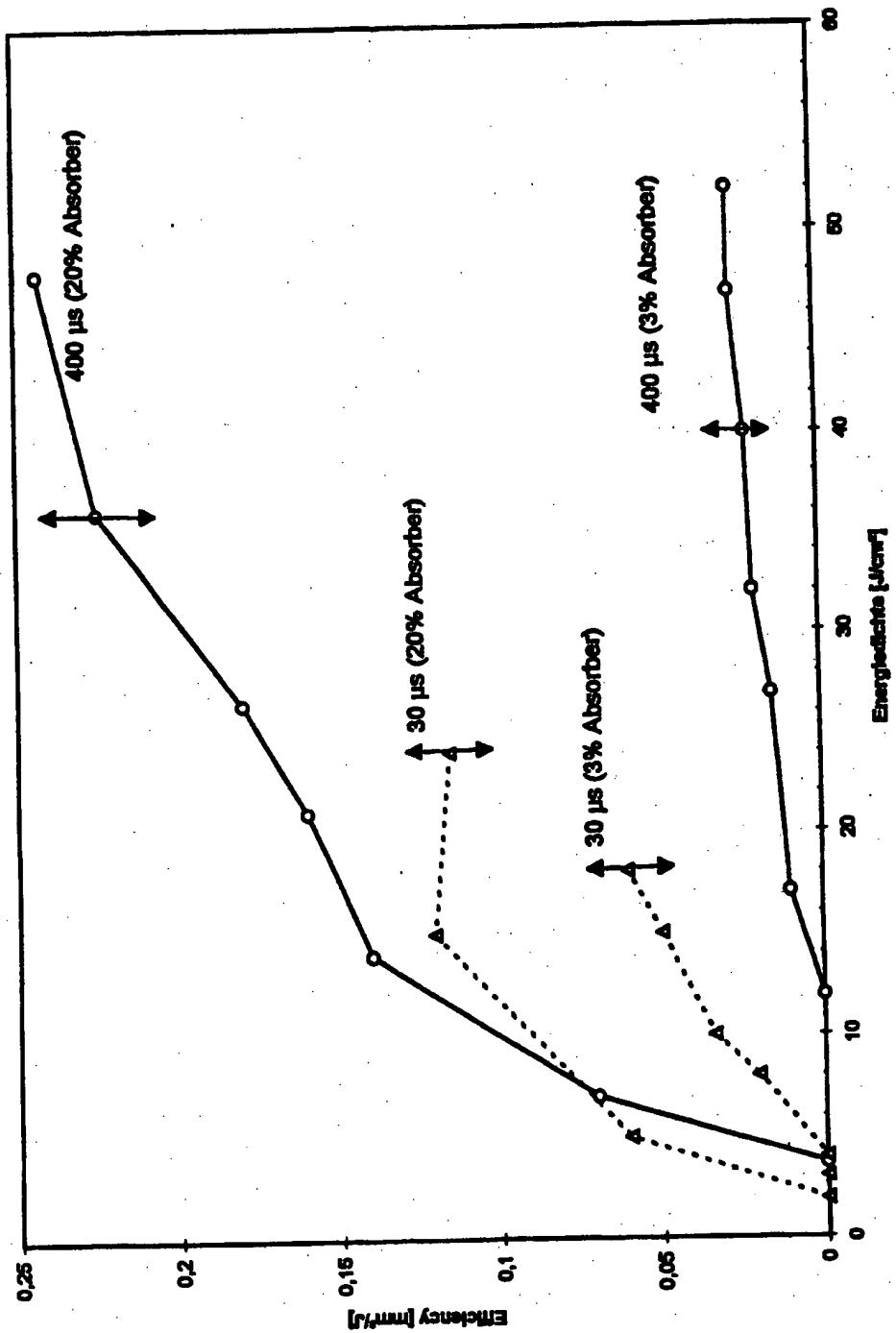


FIG 2

\*

Figur 1



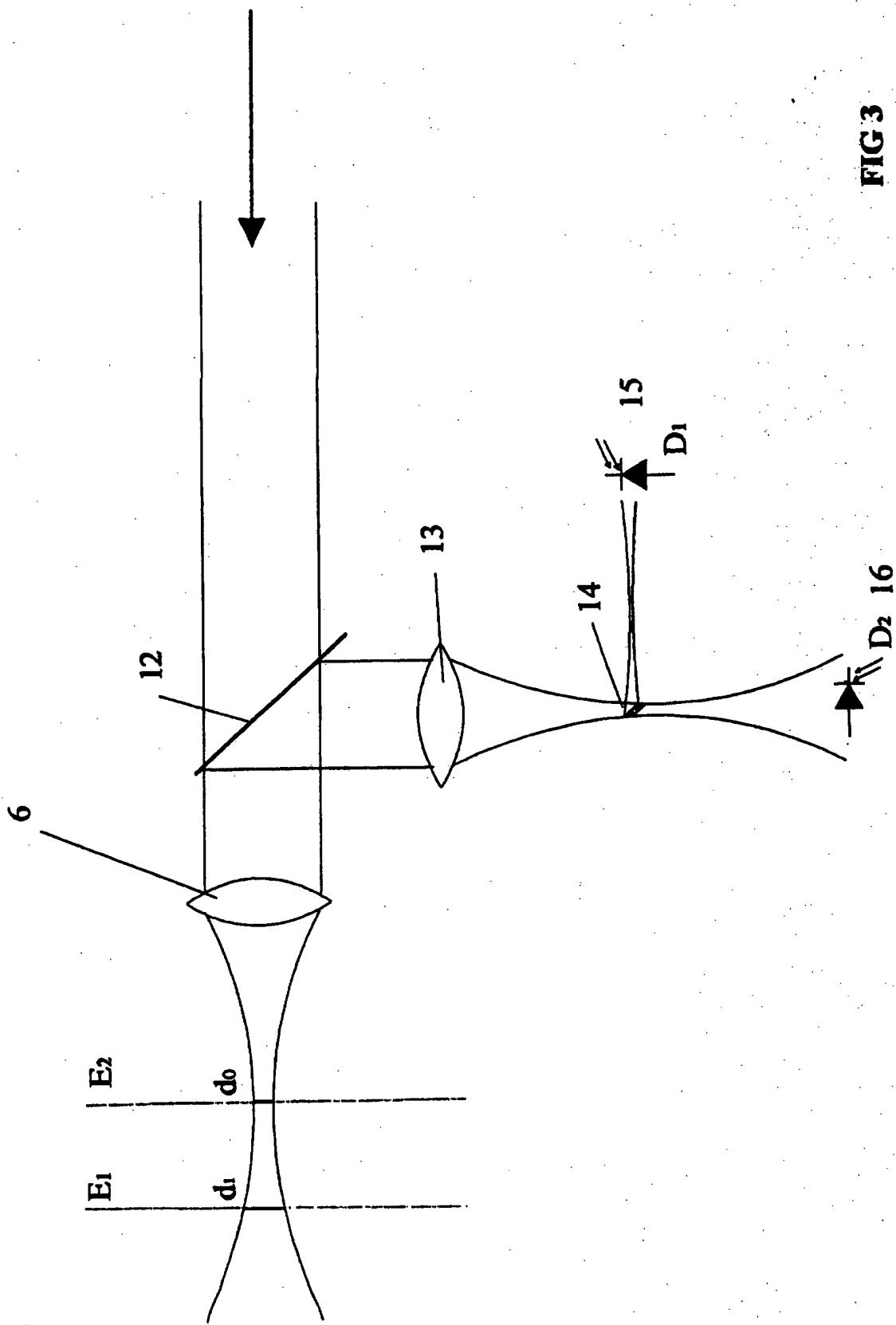


Figure 4

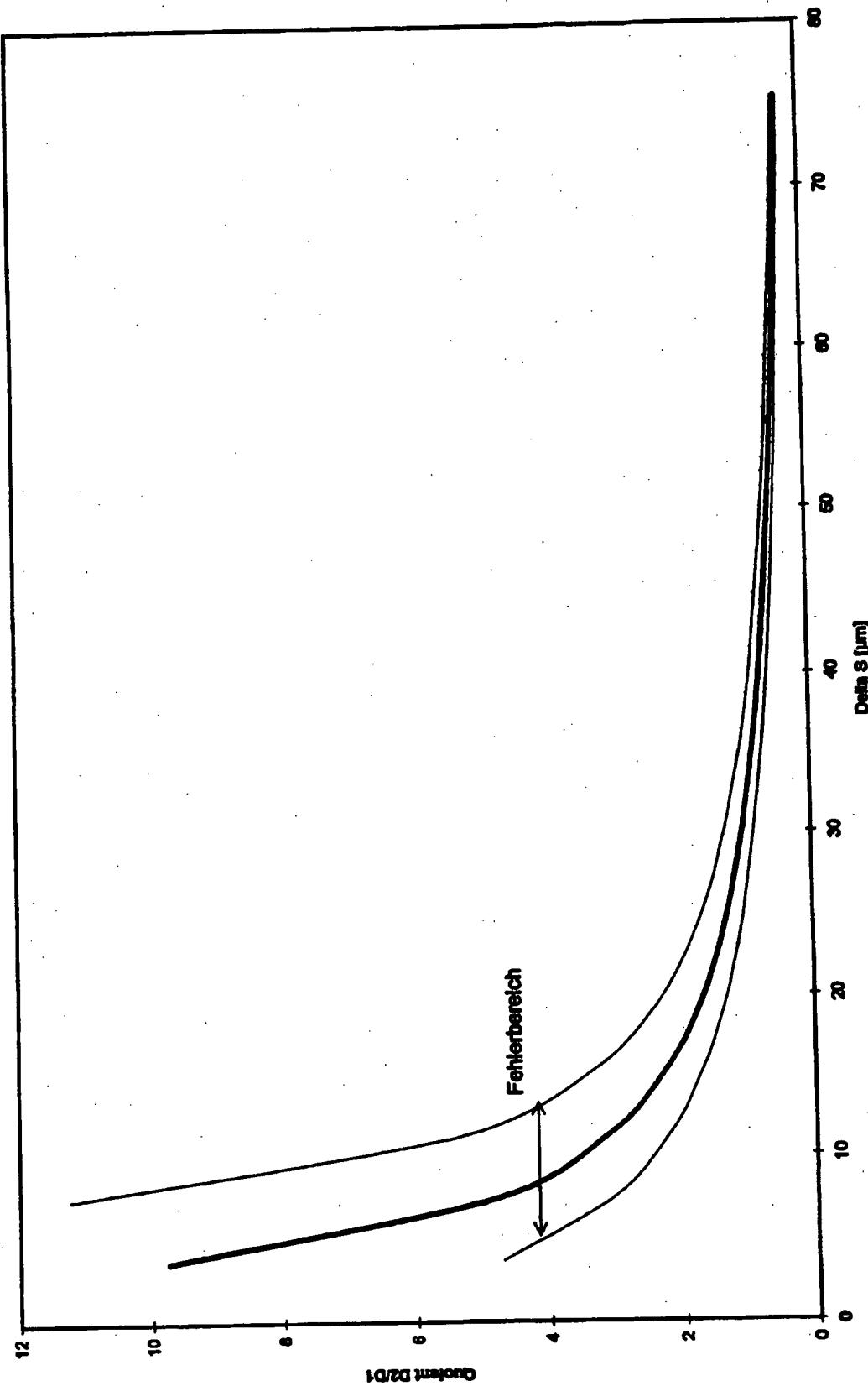


FIG 5

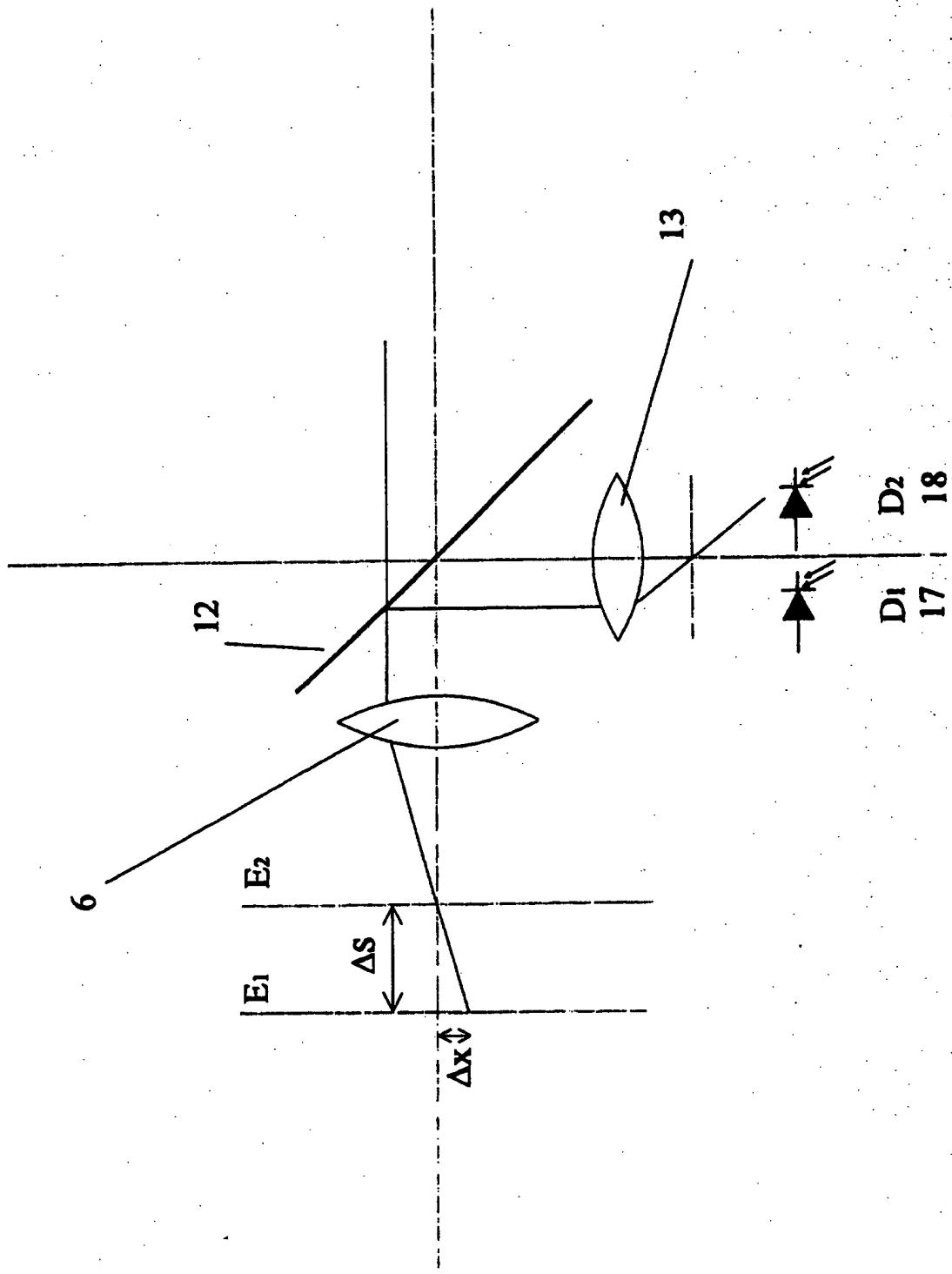


FIG 6

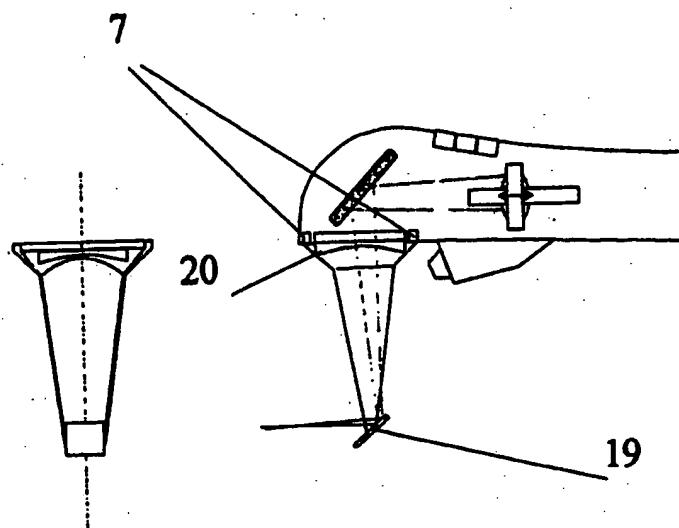


FIG 7

